

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-190111

(43) 公開日 平成10年(1998) 7月21日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/10

H 0 1 S 3/10

Z

G 0 2 B 5/00

G 0 2 B 5/00

A

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平8-347485

(22) 出願日 平成 8 年 (1996) 12月26日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番  
1 号

(72) 発明者 高橋 義宏

北海道札幌市中央区北一条西 2 丁目 1 番地  
富士通北海道デジタル・テクノロジー株  
式会社内

(72) 発明者 長沼 典久

北海道札幌市中央区北一条西 2 丁目 1 番地  
富士通北海道デジタル・テクノロジー株  
式会社内

(74) 代理人 弁理士 井柘 貞一

最終頁に続く

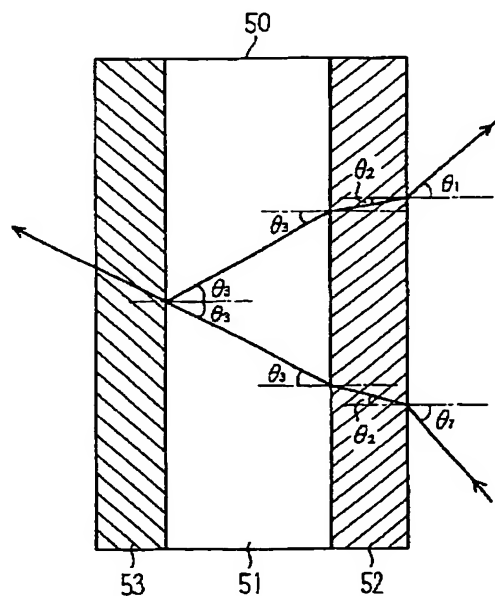
(54) 【発明の名称】 光学素子、光フィルタ及び光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 光学素子、光フィルタ及び光増幅器に関し、光フィルタと光増幅器の構成を簡略化し、光フィルタと光増幅器の透過特性の調整を容易にする光学素子と、該光学素子を適用することにより構成が簡略化され、且つ調整が容易になる光フィルタ及び光増幅器を提供する。

【解決手段】 光学素子は、光透過性を有する物質よりなる基板の一の面にフィルタ膜を形成し、該基板の該フィルタ膜を形成する面に対向する面に反射膜を形成する。光フィルタは、前記光学素子の、前記フィルタ膜が形成される面から信号光を入射させ、前記反射膜が形成される面において該信号光を反射させ、該フィルタ膜が形成される面から該信号光を出射させることによって構成する。入力信号光のレベルをモニタする前段モジュールと、該信号光を増幅する光増幅段と、該光増幅段の出力光から該信号光を抽出する後段モジュールとからなる光増幅器は、該前段モジュール又は該後段モジュールに前記光フィルタを備えて構成する。

本発明の光学素子の構成



**【特許請求の範囲】**

【請求項1】 光透過性を有する物質よりなる基板の一面にフィルタ膜を形成し、該基板の該フィルタ膜を形成する面に対向する面に反射性の膜を形成することを特徴とする光学素子。

【請求項2】 請求項1記載の光学素子の、前記フィルタ膜が形成される面から信号光を入射させ、前記反射性の膜が形成される面において該信号光を反射させ、該フィルタ膜が形成される面から該信号光を出射させることを特徴とする光フィルタ。

【請求項3】 入力信号光のレベルをモニタする前段モジュールと、該信号光を増幅する光増幅段と、該光増幅段の出力光から該信号光を抽出する後段モジュールとからなる光増幅器において、該前段モジュール又は後段モジュールに請求項2記載の光フィルタを備えることを特徴とする光増幅器。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

【発明の属する技術分野】 本発明は、光学素子、光フィルタ及び光増幅器に係り、特に、光フィルタと光増幅器の構成を簡略化し、光フィルタと光増幅器の透過特性の調整を容易にする光学素子と、該光学素子を適用することにより構成が簡略化され、且つ調整が容易になる光フィルタ及び光増幅器に関する。

【0002】 光増幅器は、入力信号光のレベルをモニタする前段モジュールと、該信号光を増幅する光増幅手段と、該光増幅手段の出力光から該信号光を抽出する後段モジュールとから構成される。実用的な光増幅器においては、これらのどの部位も欠くことができないが、光伝送路での信号対雑音比を高く保って、光デジタル通信においては符号誤り率を確保するために、又、光アナログ通信においては雑音自体を少なくするために光増幅手段の出力光から該信号光を抽出する後段モジュールの役割は大きい。

【0003】 後段モジュールにおいて光増幅手段の出力光から該信号光を抽出するために帯域通過型の光フィルタが用いられる。この光フィルタに対しては、波長選択性が良好であることと、良好な波長選択性を得るための構成が簡略なこと及び波長選択性の調整が容易なことが要請される。そして、光フィルタの構成が簡略化され、その調整が容易になれば、光増幅器の構成も簡略化され、その調整も容易になって、そのコストが低減される。

【0004】 従って、このような光フィルタ及び光増幅器を実現することができる光学素子の実用化と、該光学素子を適用することによって構成が簡略化される光フィルタ及び光増幅器の実用化が待たれている。

【0005】 ところで、光増幅器には、稀土類元素のイオン特にエルビウム・イオンを添加した光ファイバを光

増幅段に用いる光ファイバ増幅器と、化合物半導体中での光増幅作用を利用した半導体光増幅器とがある。

【0006】 いずれのタイプにおいても、光増幅器は入力信号光のレベルをモニタする前段モジュールと、該信号光を増幅する光増幅段と、該光増幅段の出力光から該信号光を抽出する後段モジュールとから構成される。従って、以降においては、既に実用化が着々と進んでいる光ファイバ増幅器を例にして本発明の技術を説明することにした。

**【0007】**

【従来の技術】 図9は、前方励起型の光ファイバ増幅器の構成を示すものである。図9において、1は前段モジュールで、入力される信号光の一部を分岐する光カプラ11と、該光カプラ11において分岐される光を変換して入力される信号光のレベルをモニタするための電気信号を生成する光ダイオード12と、光増幅段以降からの反射光や自然放出光を入力側に伝えないためのアイソレータ13とからなる。

【0008】 又、2は光増幅段で、エルビウム・イオンを添加した光増幅ファイバ21と、該光増幅ファイバで信号光を増幅するための励起光を発生するレーザー・ダイオード22と、該信号光と該励起光を結合する光カプラ23とからなる。尚、ここではレーザー・ダイオード22の出力を光増幅ファイバ21に結合する手段としてファイバ融着型のカプラを用いるタイプを想定して図示しているが、該レーザー・ダイオード22の出力を該光増幅ファイバ21に結合する手段として波長多重素子などの素子を用いることもできる。

【0009】 更に、3は後段モジュールで、出力側からの反射光を光増幅段に伝えないためのアイソレータ31と、光増幅段の出力光から励起光と自然放出光を除去して信号光を取り出すための帯域通過型の光フィルタ32と、信号光の一部を分岐する光カプラ38と、該光カプラ38が分岐する信号光を変換して出力される信号光のレベルをモニタするための電気信号を生成する光ダイオード34とからなる。

【0010】 尚、後方励起型の光増幅器においても構成は本質的には変わらず、後段モジュールに光フィルタを備えることが必須である。又、前段モジュールにおいて、アイソレータ13の代わりに、信号光を通過させる一方励起光と自然放出光を阻止する光フィルタを用いることも可能である。

【0011】 図10は、該光フィルタを構成する従来の光学素子の原理的な構成を示すものである。図10において、50bは光学素子である。該光学素子は、光透過性が良好な物質、最も典型的にはガラスよりなる基板51と、光の波長によって透過特性が異なるフィルタ膜52と、該基板51と空気との間で光の透過性をよくする透過膜54とによって構成される。

【0012】 ここで、フィルタ膜は、通常、二酸化チタ

ンの薄膜と二酸化シリコンの薄膜を多層に積層して形成され、多層に形成された薄膜の間の反射光と透過光による複合された干渉によって波長によって異なる透過率を呈する。

【0013】しかし、信号光の透過率に対してそれ以外の波長の光に対する透過率を十分に小さくするには、図10に示した構成の光学素子を複数使用する必要がある。図8は、従来の光増幅器の後段モジュールの構成例である。

【0014】図8において、31はアイソレータ、32-2及び32-3は光フィルタを構成する光学素子、32-4及び32-5は該光学素子を接着固定する固定板、32-6及び32-7は該固定板の角度を調整しつつ後述するケースの底面に固定するための捻子、38は出力光の一部を分岐する光カプラ、34は出力される信号光のレベルをモニタする光ダイオード、35は後段モジュールのケース、36-1及び36-2はそれぞれ入力側のコネクタ及び出力側のコネクタ、37-1及び37-2はそれぞれ入力側の光ファイバ及び出力側の光ファイバである。尚、光フィルタ32は二の光学素子32-2及び32-3と二の固定板32-4及び32-5と二の捻子32-6及び32-7によって構成される。

【0015】即ち、図8に示した後段モジュールは、光フィルタ32を構成するために図10に示した光学素子を2個使用する例である。そして、ケース35を水平にした場合に、入力側のコネクタ36-1とアイソレータ31と二の光学素子32-2及び32-3と光カプラ38及び出力側のコネクタ36-2は同一水準に並び、且つ、それらの部品は入力側のコネクタ36-1から出射された光が出力側のコネクタ36-2に入射されるような位置関係を保って固定される。ケース35の中に描かれている複数の線は、入力側のコネクタ36-1とアイソレータ31と二の光学素子32-2及び32-3と光カプラ38及び出力側のコネクタ36-2を水平線上に並べるためにケース35の底面の高さを変えるように行なわれる切削部の境界を示す。

【0016】図8の後段モジュールにおける光フィルタ32の透過特性の調整は、捻子32-6及び32-7を仮固定した状態で信号光の光軸に対する二の固定板32-4及び32-5の角度を調整する、即ち、信号光の光軸に対する二の光学素子32-2及び32-3の角度を調整することによって行なう。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】ところで、該光学素子32-2及び32-3を構成する基板の寸法は、通常、縦横が2.5mm、厚さが2mm程度であるが、フィルタ膜やカプラ膜の蒸着はこの寸法の基板に直接行なうのではなく、直径2～8インチ程度のウェハにフィルタ膜とカプラ膜を蒸着した後で切り出して（スクライビングという。）上記の寸法にする。

【0018】従って、ウェハの大きさは無視できないので、ウェハの中央部と周辺部とでは形成される膜の厚さには必然的なバラツキが生じ、ウェハ上の距離が近い位置からとれた光学素子の間では膜厚のバラツキは小さく、同一の光学素子の上では膜厚のバラツキは無視できる。

【0019】しかし、このようなウェハをスクライビングして各々の光学素子に分離した後に、ウェハ上の位置関係を保ったまま各々の光学素子を管理することは極めて面倒である。このため、後段モジュールを組み立てる時に選択される光学素子はウェハ上の近傍の位置からとれたものとは限らないということになる。

【0020】さて、フィルタ膜において波長が異なる光の透過率が異なるのは、多層の二酸化チタンと二酸化シリコンの薄膜の中における透過光と反射光の干渉の複合によるが、光がフィルタ膜を通過する距離にも関係する。

【0021】従って、フィルタ膜の厚さにバラツキがある場合には、各々の光学素子における透過光の波長にバラツキが生ずる。しかも、各々がどのような透過特性であるかが判らないまま二の光学素子が選択されて、1つつづつ固定板に固定されることになる。

【0022】このため、光フィルタとして透過率の調整を行なう際には、二の光学素子を固定した固定板32-4及び32-5を捻子32-6及び32-7によってケース35に仮固定した後で、双方の固定板32-4及び32-4の光軸に対する角度を別々に調整してみて、所望の透過率特性になる角度を求めるという作業をしなければならない。これでは、所望の透過率特性に収斂させるために各々の光学素子の角度を何回も調整しなければならないということに遭遇することが常である。

【0023】上記より簡単な調整法として、光学素子を固定した一の固定板だけを後段モジュールに仮固定して、信号光の光軸に対するその角度を調整して透過率特性の最もよい点を探した後で残りの光学素子を固定した固定板も仮固定し、次は後で仮固定した固定板の角度だけを調整して光フィルタ全体としての透過率特性を最適化する方法もある。こうすれば、二の光学素子に関する角度調整を、いったりきたり何回も行なう必要がなくなるが、それでも2段階の調整が必要である。

【0024】このように、従来の後段モジュールにおいては、光フィルタの調整に難点がある。しかも、光学素子を複数使う必要があり、光フィルタ及び光増幅器の構成の簡略化を阻害をする。

【0025】本発明は、かかる問題点に鑑み、光フィルタと光増幅器の構成を簡略化し、光フィルタと光増幅器の透過特性の調整を容易にする光学素子と、該光学素子を適用することにより構成が簡略化され、且つ調整が容易になる光フィルタ及び光増幅器を提供することを目的とする。

## 【0026】

【課題を解決するための手段】図1は、本発明の光学素子の構成を示す原理図である。図1において、50は光学素子で、透過性が良好な材質、典型的にはガラスからなる基板51と、フィルタ膜52と光カブラ膜53によって構成されている。

【0027】そして、基板51は縦横2.5mm、厚さ2mm程度であるから、フィルタ膜52の厚さは基板表面で一定であり、その屈折率も一定にできる。尚、図1には最も基本的な構成として基板51の厚さが一定な場合を示している。

【0028】そして、光学素子のフィルタ膜52の側から信号光を入射角 $\theta_1$ で入射するものとし、光学素子の外側の物質（通常空気である。以降、空気だけを考慮して説明する。）の屈折率を $n_1$ とし、フィルタ膜52の屈折率を $n_2$ とし、基板51の屈折率を $n_3$ とすると、基板51の法線に対するフィルタ膜中の光の角度 $\theta_2$ は、 $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$  (1) によって求められる角度となる。

【0029】式(1)によって求められる角度 $\theta_2$ で光が基板51に入射すると、基板51にたてた法線に対する基板51中の光の角度 $\theta_3$ は、

$$n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3 \quad (2)$$

によって求められる角度となる。

【0030】該基板51中の光は該基板51とカブラ膜53の界面上記 $\theta_3$ なる角度で入射し、一部はカブラ膜53を通過して空気中に出射され、大部分は基板51とカブラ膜53の界面で反射される。

【0031】従って、反射光は基板51にたてた法線に対して $\theta_3$ なる角度で基板51中を伝播してフィルタ膜52に達する。フィルタ膜52と基板51の屈折率の関係は上記と同じであるから、光は基板51にたてた法線に対して上記 $\theta_2$ の角度でフィルタ膜52中を伝播して空気とフィルタ膜52との界面に達する。

【0032】フィルタ膜52と空気の屈折率の関係は上記と同じであるから、光は基板51にたてた法線に対して上記 $\theta_1$ の角度で空気中に出射される。つまり、入射された光はフィルタ膜52を2回通過して空気中に出射され、しかも、フィルタ膜52への入射角とフィルタ膜52からの出射角が等しくなる。

【0033】従って、図1の光学素子を使うことによって、特性が全く同じにできている従来の光学素子を2個使用すると同じ透過率特性を得ることができる。即ち、先に述べたように、基板51上のフィルタ膜52の厚さは一定であるから、光が1回目にフィルタ膜52を実際に伝播する距離と、光が1回目にフィルタ膜52を実際に伝播する距離とは等しくなる。従って、光が1回目にフィルタ膜52を通過する際の透過率特性と、光が2回目にフィルタ膜52を通過する際の透過率特性とは等しくなる。

【0034】つまり、従来のタイプの光フィルタにおいて、この光学素子の透過率特性にバラツキがない場合に相当する特性が得られる。しかも、フィルタ膜を透過する光の波長は、光が該フィルタ膜中を伝搬する距離によって可変にできるので、透過光の波長は光の入射角 $\theta_1$ を調整することによって容易に調整することができる。

【0035】従って、図1の光学素子を後段モジュールに適用すれば、光学素子の信号光の光軸に対する角度を調整して透過率特性を調整する場合、調整すべき光学素子は1個となり、光学素子への入射角と光学素子からの出射角が必ず等しくなるので、その調整は極めて容易になる。

【0036】尚、空気の屈折率は約1であり、基板にガラスを使用する場合にその屈折率は約1.5であり、フィルタ膜の等価屈折率は2強であるので、空気から光学素子への入射角 $\theta_1$ を設定すれば、 $\theta_2$ 及び $\theta_3$ の目安をつけることができるので、これらを参照することによって前記光学素子の大きさを設計することが可能になる。

【0037】図2は、後段モジュールの原理的構成を示すものである。図2において、31はアイソレータ、32-1は本発明の光学素子、33は光リフレクタ、34は出力光のレベルをモニタするための電気信号を生成する光ダイオードである。尚、後段モジュールを構成する光コネクタや光ファイバは図示を省略している。

【0038】図2に示した後段モジュールの原理的構成において、後段モジュールに入力される信号光はアイソレータ31を通過した後に光リフレクタ33に入射され、光リフレクタ33によって反射されて光学素子32-1に入射される。

【0039】尚、光学素子32-1は基板上にフィルタ膜とカブラ膜を形成したものである。該光リフレクタ33で反射された信号光はフィルタ膜側から光学素子32-1に入射される。該信号光は光学素子32-1の中で屈折と反射をされて、その大部分は光学素子32-1のフィルタ膜側に出射されて出力光となる。

【0040】従って、光フィルタに入射される光に含まれている励起光成分と光増幅部において発生する自然放出光は減衰を受けて光フィルタから出射され、出力光における信号対雑音比が改善される。

【0041】一方、該信号光の一部は光学素子32-1のカブラ膜で分岐され、光学素子32-1から出射されて光ダイオード34に入射され、該光ダイオード34によって信号光のレベルをモニタするための電気信号に変換される。

【0042】従って、従来の後段モジュールにおいては信号光の光軸上に4個の光部品を必要としたのに対して、本発明の後段モジュールにおいては信号光の光軸上に3個の光部品を配置すればよく、後段モジュールの構成を簡略化することができる。

【0043】尚、後述するように、信号光がフィルタ膜を通過する回数を増やす必要性が高くなるにつれて、上記簡略化の効果は大きくなる。

【0044】

【発明の実施の形態】図3は、本発明の光フィルタの特性の実測例である。図3は、本発明の光学素子を1個使用して構成した光フィルタにおいて、信号光を該光学素子のフィルタ膜を2回通過させる時の総合の透過率特性を、信号光を該光学素子のフィルタ膜を1回通過させる時の単位の透過率特性と共に表示している。透過率をデシベルで表しているのので、総合の透過率特性は単位の透過率特性の2倍の透過率になっていることが判る。

【0045】尚、図3においては通過波長に対する透過率を0デシベルとして表示しているが、これは透過率が最高の波長における透過率を基準にして表示しているためで、実際にはフィルタ膜と基板の損失及びカブラ膜における分岐損失を加算した損失が生ずる。この損失は、通常1デシベル以下程度で実現される。

【0046】ところで、図1又は図2に示した原理構成においては、本発明の光学素子において信号光がフィルタ膜を2回通過する構成を例示して説明したが、信号光がフィルタ膜を通過する回数は2回には限定されない。

【0047】即ち、例えば図2の構成において、信号光が光学素子32-1から空気中に出射される点の付近に反射膜を形成しておけば、信号光は反射されて再びフィルタ膜52と基板51を通過してカブラ膜53に達し、再びカブラ膜53にて反射されて基板51とフィルタ膜52とを通過してフィルタ膜と空気との界面に達する。この点では反射膜を形成してないものとすれば、信号光は合計4回フィルタ膜を通過して光学素子から出射される。上記のようにすることによって後段モジュールの構成の簡略さと光フィルタの調整の容易さを変えないで光フィルタの透過率特性を更に急峻にすることができる。

【0048】尚、信号光がフィルタ膜を通過する回数を増やすための反射膜は、フィルタ膜と空気との界面（フィルタ膜の上）に形成してもフィルタ膜と基板の界面（フィルタ膜の下）に形成してもよいし、フィルタ膜と反射膜を重ねて形成せず、基板上の領域によってフィルタ膜と反射膜とを選択的に形成してもよい。

【0049】又、図1及び図2に示した光学素子において、フィルタ膜を形成する面に対向する面にはカブラ膜を形成する例を示したが、フィルタ膜を形成する面に対向する面に形成する膜はカブラ膜には限定されない。ここにカブラ膜を形成する理由は、カブラ膜を通して信号光の一部をモニタ光として取り出す目的のためであるが、モニタ光を取り出す必要がない場合には、フィルタ膜を形成する面に対向する面には全反射膜を形成すればよい。いずれにしても、フィルタ膜を形成する面に対向する面には反射特性を有する膜を形成すればよい。そして、後者の場合には、反射損失する際に損失が生じない

ので、光フィルタの通過波長に対する絶対損失は小さくなる。

【0050】図4は、本発明の光フィルタを適用した後段モジュールの構成を示すものである。図4において、31はアイソレータ、32-1は本発明の光学素子、32-4は該光学素子を固定する固定板、32-6は該固定板を後述するケースに固定する捻子、33は光リフレクタ、34は信号光のレベルをモニタするための電気信号を生成する光ダイオード、35はケース、36-1及び36-2はそれぞれ入力側のコネクタ及び出力側のコネクタ、37-1及び37-2はそれぞれ入力側の光ファイバ及び出力側の光ファイバである。

【0051】そして、ケース35を水平にした場合に、入力側のコネクタ36-1とアイソレータ31と光学素子32-1と光リフレクタ33及び出力側のコネクタ36-2は同一水準に並び、且つ、それらの部品は入力側のコネクタ36-1から出射された光が出力側のコネクタ36-2に入射されるような位置関係を保って固定される。ケース35の中に描かれている複数の線は、入力側のコネクタ36-1とアイソレータ31と光学素子32-1と光リフレクタ33及び出力側のコネクタ36-2を同一水準で並べるためにケース35の底面の高さを変わるように行なう切削部の境界を示している。

【0052】従って、図4に示した後段モジュールの構成において、後段モジュールに入力される信号光はアイソレータ31を通過した後に光リフレクタ33に入射され、光リフレクタ33によって反射されて光学素子32-1に入射される。

【0053】そして、信号光はフィルタ膜側から光学素子32-1に入射され、該信号光は光学素子32-1の中で屈折と反射をされて、その大部分は光学素子32-1のフィルタ膜側に出射されて出力光となる。

【0054】従って、光フィルタに入射される光に含まれている励起光成分と光増幅部において発生する自然放光は減衰を受けて光フィルタから出射され、出力光における信号対雑音比が改善される。

【0055】一方、該信号光の一部は光学素子32-1のカブラ膜を通過して光学素子32-1から出射されて光ダイオード34に入射され、該光ダイオード34によって信号光のレベルをモニタするための電気信号に変換される。

【0056】該光ダイオードに入射される光はフィルタ膜を1回通過している。従って、該光ダイオードに入射される光においても励起光成分と自然放光は図3の単位の透過率特性に等しい減衰を受けるので、該信号光をモニタするための電気信号においても信号対雑音比が改善されている。

【0057】図4に示した後段モジュールにおいて、光フィルタの透過率特性を調整するのは、光学素子32-1を固定した固定板32-4を捻子32-6によって仮

固定した状態で、該固定板32-4が信号光の光軸となす角度だけを調整すればよい。

【0058】光学素子32-1上のフィルタ膜の厚さは一定であり、信号光が実際にフィルタ膜中を伝播する距離は通過の度に同じであるので、該固定板32-4が信号光の光軸となす角度がどうなっているとしても、光フィルタとしての透過率特性はフィルタ膜を1回通過する時の透過率特性を加算（透過率をデシベル単位で表現した場合）した特性になる。従って、光フィルタの特性を所望の特性に調整することは極めて容易である。

【0059】尚、図4の構成のボーナス的な利点は、光リフレクタ33によって信号光の光路を折り曲げるために、後段モジュールの入力側から出力側までの長さを短くできる点にある。この、光リフレクタによる光路折り曲げの角度を適切に選択することによって、後段モジュールの幅をあまり大きくしないで済むので、後段モジュールの小型化が可能である。

【0060】ところで、図4の後段モジュールにおいては、出力光のレベルをモニタするための光ダイオードのみを備えているが、光学素子32-1から出射される出力光の逆延長上に光ダイオードを備えれば、出力側の光ファイバが断線したり、出力側のコネクタが外れた時の反射光をモニタすることも可能になる。

【0061】図5は、光学素子への光の入射角の変動による通過帯域の中心波長の変動、即ち、光学素子への光の入射角の変動による通過帯域のずれを示すものである。光の入射角の変動によって通過帯域がずれるのは、入射角の変動によって光がフィルタ膜の中を実際に伝播する距離が変わるためである。実は、この通過帯域の変動が、図10に示した光学素子を複数使った光フィルタにおける透過率特性の調整を困難にしていた。

【0062】しかし、本発明の光学素子を使用する光フィルタにおいては、光の入射角の変動によって通過帯域がずれる現象を積極的に使って、光フィルタの透過率特性のフィッシャーを自由に決めることができるようになる。このための構成を図6に示す。

【0063】図6は、図1の構成において厚さが変化する基板を用いた光学素子を示すものである。この場合には、基板とフィルタ膜の界面にたてた法線に対してカブラ膜への入射角とカブラ膜からの反射角が異なる角度になるために、フィルタ膜から基板への出射角 $\theta_3$ と基板からフィルタ膜への入射角 $\theta_5$ が異なる角度になる。

【0064】従って、空気からフィルタ膜への出射角 $\theta_2$ とフィルタ膜から空気への入射角 $\theta_6$ が異なる角度になり、空気からフィルタ膜に入射される光がフィルタ膜中を伝搬する距離と、フィルタ膜から空気に出射される光がフィルタ膜中を伝搬する距離が異なるようになる。

【0065】即ち、図6の構成によって、異なる透過率特性の光フィルタを2段縦属接続した光フィルタを得ることができる。従って、その透過率特性は図1の構成に

よって得られる特性とは異なるものになる。

【0066】そして、図6に示した光学素子への入射角を変えることによって図5に示した現象を任意に利用することができるので、光フィルタとしての透過率特性を自由に決めることができる。

【0067】図7は、図6の構成を適用した光フィルタの透過率特性の例である。図7において、破線で示した特性は図6における入射側の特性、一点鎖線で示した特性は図6における出射側の特性で、実線で示した特性はその総合特性である。

【0068】図7の総合特性を見れば明らかなように、通過波長域は図3の特性より狭くなり、減衰波長域での透過率は図3の特性とほぼ同じになる。この特性は、フィルタ膜を形成する面とカブラ膜を形成する面の角度及びフィルタ膜への光の入射角の特定の値に対応して決まるので、フィルタ膜を形成する面とカブラ膜を形成する面の角度及びフィルタ膜への光の入射角を異なる値にすることによって任意のフィルタ特性を得ることが可能になる。

【0069】しかも、フィルタ膜側に反射膜を形成して光がフィルタ膜を通過する回数を増やす構成や、カブラ膜を反射膜にする構成を適用できることは、図1の構成の場合と同じである。

【0070】そして、光フィルタや光増幅器の構成を簡略化できること、及び、光フィルタや光増幅器としての調整を容易にすることができることも、図1の構成と全く同じである。

【0071】尚、基板の厚さを一定にして、フィルタ膜の厚さを基板表面上で変化させて形成しても同じ作用を実現することができる。しかし、こうするためには蒸着チャンバー中又は基板表面に電位分布を形成するなどの技術が必要であり、光学素子の製造に若干の困難性が生ずる。一方、基板の厚さを基板表面上で変化させるには厚さが一定な基板を研磨することによって実現できるので、基板の厚さを変化させてフィルタ膜とカブラ膜を形成する方が容易である。

【0072】さて、上記においては一貫して光ファイバ増幅器を例にして本発明の技術を説明してきた。しかし、光増幅器としては、半導体光増幅器も開発されつつあり、いずれは実用化されよう。その半導体光増幅器においても、増幅中に生ずる雑音成分を除去して出力光の信号対雑音比を高く確保すべきことは光ファイバ増幅器の場合と変わりがない。従って、本発明の光学素子、該光学素子を適用した光フィルタが半導体光増幅器においても同じ効果を奏することは全く同じである。

【0073】更に、図9に示した光ファイバ増幅器の構成を主な例にして説明してきたので、光ファイバ増幅器の後段モジュールに本発明の光学素子を適用した光フィルタを設けることを主に想定してきたが、従来の技術の説明の最後に記載したように、図9の前段モジュールに

においてアイソレータ 13 の代わりに光フィルタを設けてもよいので、本発明の光学素子を適用した光フィルタを設けることができるのは後段モジュールには限定されない。

#### 【0074】

【発明の効果】以上詳述した如く、本発明により、光フィルタと光増幅器の構成を簡略化し、光フィルタと光増幅器の透過特性の調整を容易にする光学素子と、該光学素子を適用することにより構成が簡略化され、且つ調整が容易になる光フィルタ及び光増幅器が実現できる。特に、光フィルタ及び光増幅器としての調整が容易になることは、光フィルタ及び光増幅器のコスト低減に大きく寄与する。

【0075】又、本発明によって、光フィルタとしての特性を任意に決めることができるようになる。しかも、透過率特性が減衰波長域で急峻な光フィルタを実現することも容易に可能になる。この場合には、光フィルタと光増幅器の構成を簡略化できる効果が大きくなる。

【0076】しかも、本発明の技術は、光ファイバ増幅器に限らず、光半導体増幅器にも同様に適用することができる。従って、本発明は広い範囲の光増幅器の特性の改善と調整の容易化と構成の簡略化のために貢献することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の光学素子の構成を示す原理図。

【図 2】 後段モジュールの原理的構成。

【図 3】 本発明の光フィルタの特性の実測例。

【図 4】 本発明の光フィルタを適用した後段モジュールの構成。

【図 5】 光学素子への光の入射角の変動による通過帯域のずれ。

【図 6】 図 1 の構成において厚さが変化する基板を用いた光学素子。

【図 7】 図 6 の構成を適用した光フィルタの透過率特性の例。

【図 8】 従来の光増幅器の後段モジュールの構成例。

【図 9】 前方励起型の光ファイバ増幅器の構成

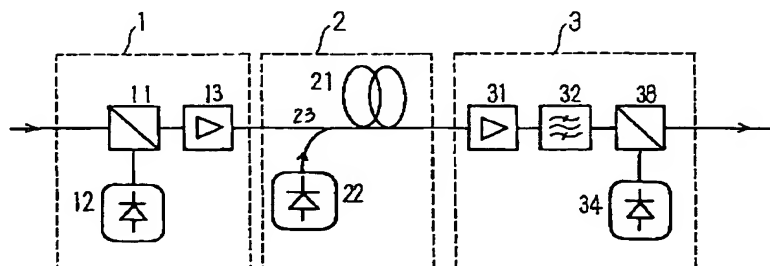
【図 10】 光フィルタを構成する従来の光学素子の原理的な構成。

#### 【符号の説明】

- 1 前段モジュール
- 2 光増幅段
- 3 後段モジュール
- 11 光カプラ
- 12 光ダイオード
- 13 アイソレータ
- 21 光増幅ファイバ
- 22 励起レーザー・ダイオード
- 23 光カプラ
- 31 アイソレータ
- 32 光フィルタ
- 32-1 本発明の光学素子
- 32-2、32-3 従来の光学素子
- 32-4、32-5 固定板
- 32-6、32-7 捻子
- 34 光ダイオード
- 35 ケース
- 36-1 入力側のコネクタ
- 36-2 出力側のコネクタ
- 37-1 入力側の光ファイバ
- 37-2 出力側の光ファイバ
- 38 光カプラ
- 50 光学素子
- 50a 光学素子
- 50b 光学素子
- 51 基板
- 52 フィルタ膜
- 53 カプラ膜
- 54 透過膜

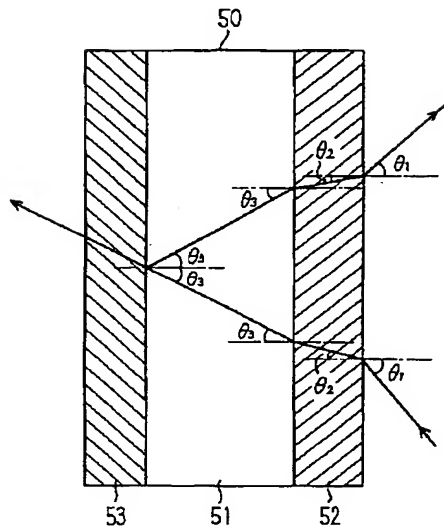
【図 9】

前方励起型の光ファイバ増幅器の構成



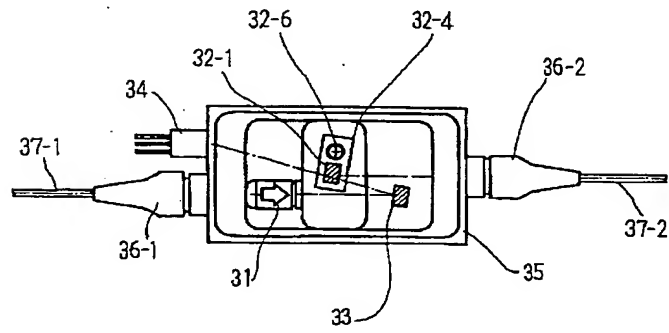
【図1】

本発明の光学素子の構成



【図4】

本発明の光フィルタを適用した後段モジュールの構成

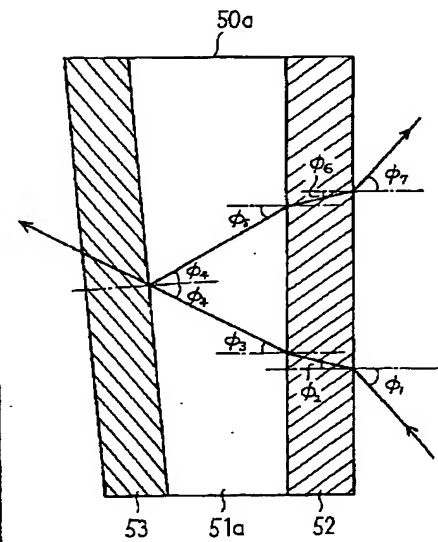
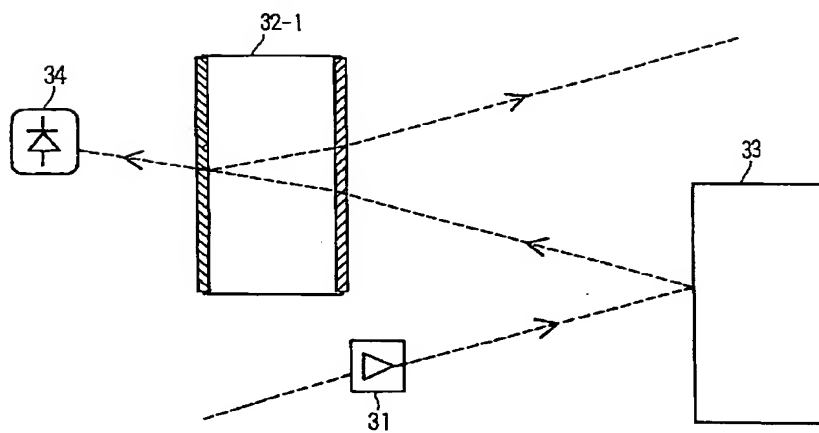


【図6】

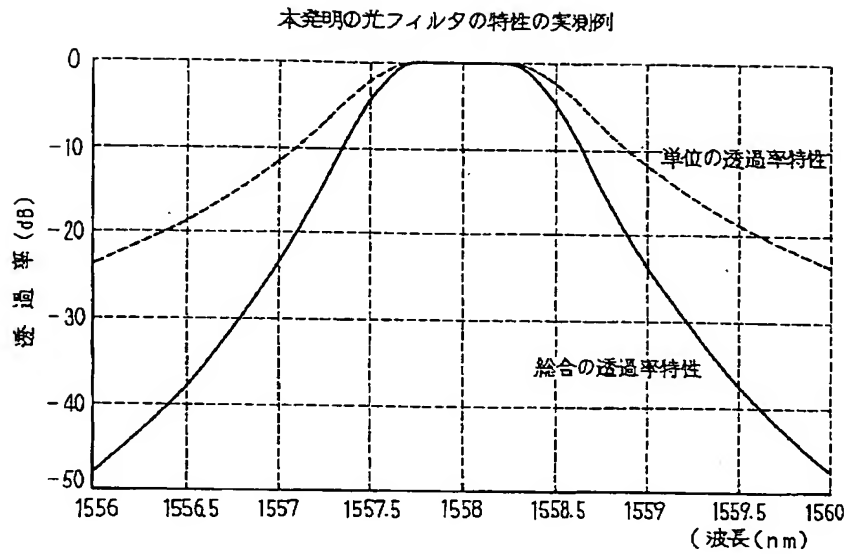
図1の構成において厚さが  
変化する基板を用いた光学素子

【図2】

後段モジュールの原理的構成

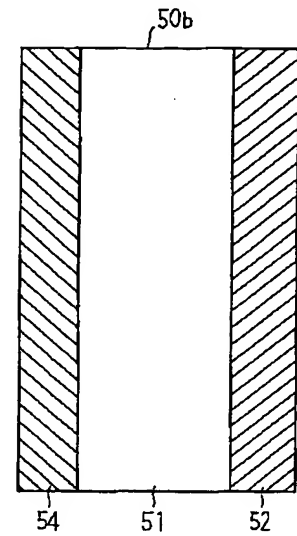


【図3】



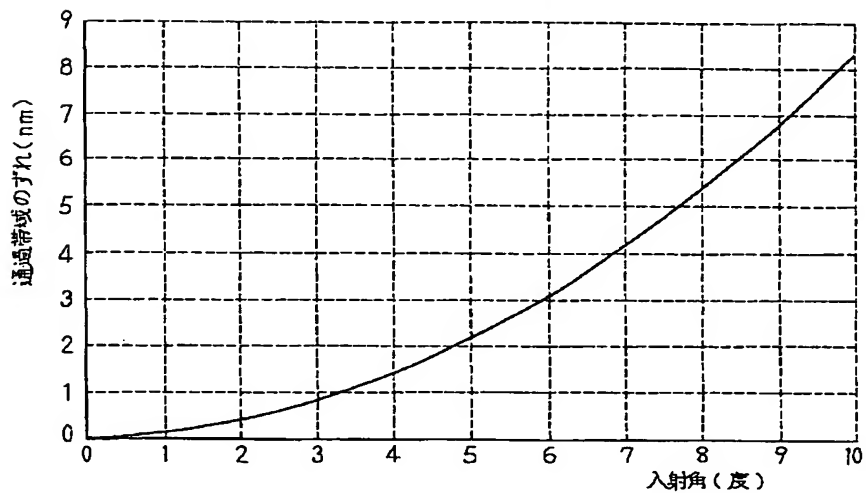
【図10】

光フィルタを構成する従来の  
光学素子の原理的な構成



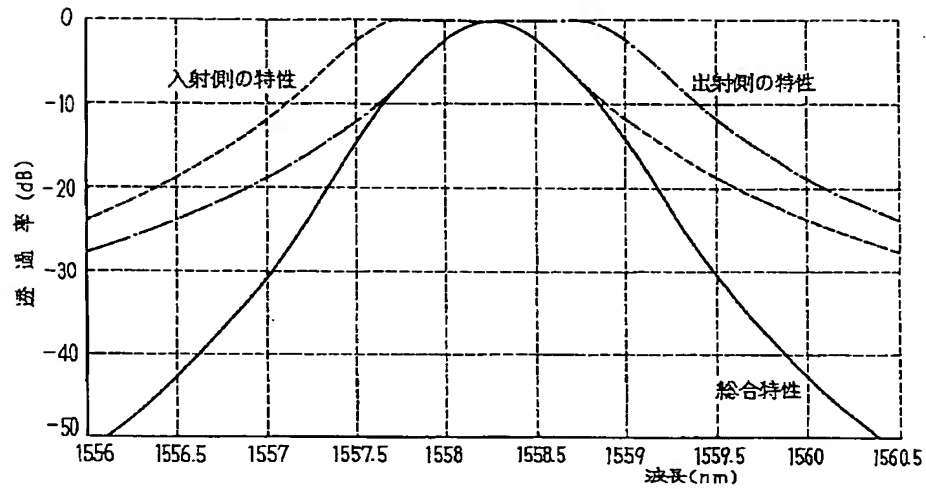
【図5】

光学素子への光の入射角の変動による通過帯域のずれ



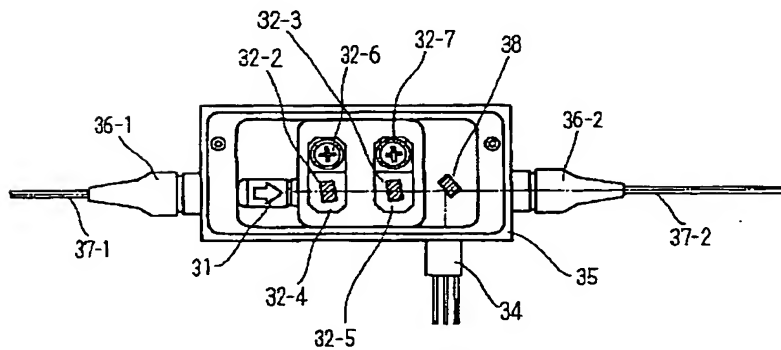
【図 7】

図 6 の構成を適用した光フィルタの透過率特性の例



【図 8】

従来の光増幅器の後段モジュールの構成例



フロントページの続き

(72) 発明者 松田 浩明  
 北海道札幌市中央区北一条西 2 丁目 1 番地  
 富士通北海道デジタル・テクノロジー株  
 式会社内